

PENGARUH METODE PERAWATAN TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG

THE EFFECT OF CURING METHODS ON THE FLEXURAL CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAM

*Perianto Todinglabi, Rudi Djamaluddin, Rita Irmawaty
Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar*

Alamat Korespondensi

Perianto Todinglabi
Fakultas Teknik Jurusan Sipil
Universitas Hasanuddin Makassar, 90245
Hp : 085399070272
Email : periantotodinglabi@gmail.com

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

PENGARUH METODE PERAWATAN TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG

THE EFFECT OF CURING METHODS ON THE FLEXURAL CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAM

Perianto Todinglabi¹, Rudi Djalamaluddin², Rita Irmawaty³

ABSTRAK

Ada beberapa metode perawatan yang digunakan untuk perawatan beton yaitu perendaman dalam air, menggunakan karung goni basah, dan ada juga yang dibiarkan di udara terbuka. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi metode perawatan yang baik terhadap kekuatan lentur beton bertulang dan untuk menganalisa pengaruh metode perawatan terhadap kapasitas lentur balok beton bertulang. Ketiga metode yang digunakan akan dibandingkan satu sama yang lainnya untuk mengetahui metode yang paling baik. Metode pembebanan yang digunakan yaitu metode pembebanan monotonik yang menggunakan *Load Two Point* pada kecepatan *Ramp Actuator* Konstan sebesar 0.1 mm/dt sampai balok runtuh. Pengujian dilakukan terhadap tiga variasi metode perawatan benda uji selama 28 hari. Benda uji 1 dirawat dengan direndam dalam air, benda uji 2 dirawat dengan penutupan memakai karung goni basah dan benda uji 3 dibiarkan di udara terbuka tanpa ada perawatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas lentur maksimum terbesar terjadi pada balok yang direndam dalam air dan kapasitas lentur maksimum terkecil terjadi pada balok yang dibiarkan di udara terbuka serta metode perawatan yang baik terhadap balok beton bertulang adalah metode yang direndam dalam air dengan rasio kapasitas momen eksperimental terhadap hasil Analisa sebesar 1,003 %.

Kata kunci : balok beton, metode perawatan, kapasitas momen

ABSTRACT

There are several methods used for concrete curing, namely water submersion, wet gunny used, and open air curing. This research aims to identify the curing method on the flexural strength of reinforced concrete and to analyze the effect curing method against flexural strength capacity of reinforced concrete beam. These three method that used will be compared to each other to find the best curing method. Loading method that used is monotonic loading method which using Load Two Point at Ramp Actuator constant speed at 0.1 mm/sec until the beam collapse. Testing done with three variation sample curing method for 28 days. Sample 1 treated with soaked under water, sample 2 treated with wet gunny sack covering and sample 3 left in the open air without special treatment. Testing result indicated that biggest maximum flexural capacity happened at beam that soaked under water and the smallst maximum flexural capacity happened at beam that left in the open air. With these results, research concluded that the best curing method is soaked under water with esperimental momen capacity ratio against analysis result is 1,003 %.

Key words : concrete beam, treatment metode, momen capacity

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, perkembangan dunia teknik sipil juga mengalami perkembangan yang pesat. Perkembangan ini disesuaikan dengan tingkat kebutuhan masyarakat yang terus berkembang pula. Maka dari itu inovasi-inovasi baru dalam dunia teknik sipil untuk dunia konstruksi diharapkan mengalami peningkatan dari segi mutu. Pelaksanaan konstruksi untuk pembangunan menggunakan material-material alam yang tidak dapat diperbaharui. Material-material ini digunakan untuk bahan penyusun beton.

Beton merupakan suatu material yang menyerupai batu yang diperoleh dengan membuat suatu campuran yang mempunyai proporsi tertentu dari semen, pasir dan krikil atau agregat lainnya, dan air untuk membuat campuran tersebut menjadi keras dalam cetakan sesuai dengan bentuk dan dimensi yang diinginkan. Semen dan air berinteraksi secara kimiawi untuk mengikat partikel – partikel agregat tersebut menjadi suatu masa yang padat. Beton dalam berbagai variasi sifat kekuatan dapat diperoleh dengan pengaturan yang sesuai dari perbandingan jumlah material pembentuknya.

Seperti yang dijelaskan diatas, salah satu penyusun beton adalah semen. Material semen, walaupun dalam beton digunakan sekitar 7%-15%, ternyata untuk menghasilkan semen digunakan energi yang cukup besar dan limbah yang melimpah juga, sehingga akan sangat berpengaruh

pada kondisi lingkungan. Sedangkan penggunaan material agregat krikil dan pasir, yang merupakan bahan penyusun utama beton, sekitar 80%, apabila penambangan tidak terkendali, tentu akan menimbulkan kerusakan lingkungan yang cukup besar.

Didalam perencanaan desain akan ditemukan dua bagian utama dari bangunan, yaitu non struktural dan struktural. Bagian non struktural adalah bagian bangunan yang tidak memikul beban yaitu meliputi dinding, plafon dan lain sebagainya. Bagian struktural adalah bagian bangunan yang ikut memikul beban yaitu meliputi pondasi, balok, kolom, dan pelat. Bagian struktural ini dikerjakan secara bertahap, mulai dari pemilihan bahan-bahan campuran betonnya, *mix Design*, pengecoran, dan perawatannya hingga beton mencapai kekuatan yang diinginkan yang pada umumnya dicapai pada umur beton 28 hari. Beberapa hal ini berpengaruh pada kekuatan dari struktur itu sendiri.

Proses *curing* (perawatan) pada beton memainkan peran penting pada pengembangan kekuatan dan daya tahan beton, proses curing dilaksanakan segera setelah proses pencetakan selesai. Proses curing ini meliputi pemeliharaan kelembaban dan kondisi suhu, baik dalam beton maupun di permukaan beton dalam periode waktu tertentu. Proses curing pada beton bertujuan memberikan kelembaban yang cukup pada proses hidrasi lanjutan dan pengembangan kekuatan, stabilitas volume, ketahanan terhadap pembekuan dan pencairan serta abrasi .

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Terdapat beberapa metode perawatan beton yang sering digunakan baik itu didalam laboratorium maupun dalam proses konstruksi yaitu dapat dilakukan dengan pembasahan atau penguapan (*steam*) serta dengan menggunakan membran. Pekerjaan perawatan dengan pembahasan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

- a. Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab.
- b. Menaruh beton segar dalam genangan air.
- c. Menaruh beton segar dalam air.
- d. Menyelimuti permukaan beton dengan air.
- e. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
- f. Menyirami permukaan beton secara kontinyu.
- g. Melapisi permukaan beton dengan air dengan melakukan *compound*.

Cara a, b, dan c digunakan untuk contoh uji. Cara d, e, f digunakan untuk beton di lapangan yang permukaanya mendatar, sedangkan cara f dan g digunakan untuk yang permukaanya vertikal. Fungsi utama dari perawatan beton adalah untuk menghindarkan beton dari :

- a. Kehilangan air-semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*.
- b. Kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama.
- c. Perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.

Pelaksanaan *Curing Compound*, sesuai dengan ASTM C.309, dapat diklasifikasikan menjadi :

- a. Tipe I, *Curing Compound* tanpa *Dye*, biasanya terdiri dari paraffin sebagai selaput lilin yang dicampur dengan air.
- b. Tipe I-D, *Curing Compound* dengan *Fugitive Dye* (warna akan hilang selama beberapa minggu).
- c. Tipe II, *Curing Compound* dengan zat berwarna putih.

Perawatan dengan uap dapat dibagi menjadi dua, yaitu perawatan dengan tekanan rendah dan perawatan dengan tekanan tinggi. Perawatan tekanan rendah berlangsung selama 10-12 jam pada suhu 40°-55°C, sedangkan penguapan dengan suhu tinggi dilaksanakan selama 10-16 jam pada suhu 65°-95°C, dengan suhu akhir 40°-55°C. Sebelum perawatan dengan penguapan dilakukan, beton harus dipertahankan pada suhu 10°-30°C selama beberapa jam.

Perawatan dengan penguapan berguna pada daerah yang mempunyai musim dingin. Perawatan ini harus diikuti dengan perawatan dengan pembahasan setelah lebih dari 24 jam, minimal selama umur 7 hari, agar kekuatan tekan dapat tercapai sesuai dengan rencana pada umur 28 hari.

Membran yang digunakan untuk perawatan merupakan penghalang fisik untuk menghalangi penguapan air. Bahan yang digunakan harus kering dalam waktu 4 jam (sesuai *final setting time*), dan membentuk

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

selembar film yang kontinyu, melekat dan tidak bergabung, tidak beracun, tidak selip, bebas dari lubang-lubang halus dan tidak membahayakan beton.

Dari beberapa bagian struktur gedung yang telah dibahas diatas salah satunya adalah struktur balok. Struktur balok memiliki fungsi yang sangat penting dalam menopang beban-beban yang diterima oleh struktur gedung, yaitu meneruskan beban-beban yang diterima oleh plat lantai ke struktur kolom. Balok mengandalkan kekuatan lentur untuk menahan beban-beban yang ada. Kegagalan pada struktur balok sangat berbahaya karna dapat menyebabkan struktur *collapse* total, sehingga kemampuan lentur balok perlu direncanakan dengan sangat teliti terhadap berbagai faktor yang mungkin berpengaruh.

2. Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian tentunya terdapat hal penting yang menjadi fokus utama. Oleh karena itu, untuk mendapatkan fokus utama dari sebuah penelitian yang lebih tersistematis dan tidak meluas maka perlu diberikan batasan-batasan masalah terhadap hal-hal yang akan ditinjau. Batasan-batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : Jenis elemen struktur dalam penelitian merupakan balok lentur. Jenis tulangan yang digunakan adalah tulangan ganda yang terdiri atas tulangan memanjang serat tarik D14, tulangan untuk serat tekan $\varnothing 6$, dan tulangan geser D10. Menggunakan bahan beton dengan mutu $f'_c = 25$ Mpa. Menggunakan tulangan dengan mutu $f_y = 400$ Mpa. Perawatan benda

uji dilakukan dengan tiga metode yaitu dengan perendaman dalam air, penutupan dengan karung goni basah, dan dibiarkan di udara terbuka. Perawatan dilakukan selama 28 hari. Tinjauan utama penelitian ini terletak pada kapasitas lentur balok beton bertulang akibat metode perawatan dengan perendaman dalam air, penutupan dengan karung goni basah, dan dibiarkan di udara terbuka. Penelitian ini tidak membahas proses kimiawi yang terjadi antar material dalam balok beton bertulang.

3. Tinjauan pustaka

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Seperti substansi-substansi mirip batuan lainnya, beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang sangat rendah. (Jack C. McComac, 2001).

Beton bertulang adalah merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan: beton polos, yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tarik yang rendah, dan batangan-batangan baja yang ditanamkan di dalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Baja dan beton dapat bekerja sama atas dasar beberapa alasan, yaitu lekatan (*bond*, atau interaksi antara batangan baja dengan beton keras sekelilingnya) yang mencegah selip (*slip*) dari baja relatif terhadap beton; campuran beton yang memadai memberikan sifat anti resap yang cukup dari beton untuk mencegah karat baja; dan angka

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

kecepatan muai yang hampir serupa. (Chu- Kia Wang, 1993).

Perawatan beton adalah proses mengatur laju dan tingkat kehilangan kelembaban dari beton selama hidrasi semen berlangsung. Reaksi kimia yang terjadi pada pengikatan dan pengerasan beton tergantung pada pengadaan airnya. Air harus tersedia dalam jumlah yang memadai untuk hidrasi penuh selama pencampuran, perlu ada jaminan masih ada air yang tertahan atau jenuh untuk melanjutkan reaksi kimia didalam beton tersebut.

Jenis jenis perawatan beton antara lain :

1. *Steam Curing*
Menguntungkan bila menginginkan kekuatan awal. Panas tambahan dibutuhkan untuk menyelesaikan hidrasi.
2. *Penyemprotan/Fogging*
Metode yang baik untuk kondisi dengan suhu di atas suhu beku dan humiditas rendah. Kekurangannya yaitu biaya dan dapat menyebabkan erosi pada permukaan beton yangbaru mengeras.
3. *Penggenangan/Perendaman*
Ideal untuk mencegah hilangnya *moisture*. Mempertahankan suhu yang seragam. Kekurangannya yaitu membutuhkan tenaga kerja yang banyak dan perlu pengawasan dan tidak praktis untuk proyek yang besar.
4. *Lembaran Plastik (ASTM C171)*
Lapisan Polythylene dengan ketebalan 4 mm. Kelebihannya

yaitu ringan, efektif sebagai penghalang hilangnya *moisture*, dan mudah diterapkan. Kekurangannya yaitu dapat menyebabkan *discoloration* permukaan, lebih terlihat bila lapisan plastik bergelombang dan diperlukan penambahan air secara periodik.

5. *Penutup Basah*
Menggunakan bahan yang dapat mempertahankan *moisture* seperti burlap (karung goni) yang dibasahi. Kelebihannya yaitu tidak terjadi *discoloration* dan tahan terhadap api. Kekurangannya yaitu memerlukan penambahan air secara periodik dan diperlukan lapisan plastik penutup burlap untuk mengurangi kebutuhan penambahan air.
6. *Curing Compound*
Membentuk lapisan tipis pada permukaan untuk menghalangi penguapan.

Hidrasi pada semen terjadi karena adanya uap air pada temperatur diatas 50°F. Kondisi ini harus dipertahankan agar reaksi hidrasi kimiawi terjadi. Jika beton terlalu cepat mengering, maka dapat terjadi retak pada

KODE BALOK	VARIASI
B1-A	Dengan <u>perendaman dalam air</u>
B1-B	Penutupan dengan karung Goni basah
B1-C	Dibiarkan di udara terbuka

permukaannya. Kekuatan beton akan

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

berkurang sebagai akibat retak ini, juga akibat kegagalan mencapai reaksi hidrasi kimiawi penuh. (Edward G. Nawi, 1985)

Kondisi perawatan yang baik dapat dapat dicapai dengan menggunakan salah satu metode dibawah ini:

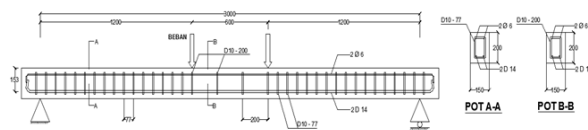
1. Beton dibasahi terus-menerus dengan air.
2. Beton direndam dalam air.
3. Beton dilindungi dengan karung basah, film plastik, atau kertas perawatan tahan air.
4. Dengan menggunakan perawatan gabungan acuan-membran cair untuk mempertahankan uap air semula dari beton basah.
5. Perawatan uap untuk beton yang dihasilkan dari kondisi pabrik, seperti pipa dan balok pracetak, dan tiang atau girder pratekan. Temperatur perawatan uap ini sekitar 150°F. Lamanya perawatan biasanya 1 hari, sementara kalau menggunakan cara lain sekitar 5 sampai 7 hari.

(Edward G. Nawi, 1985)

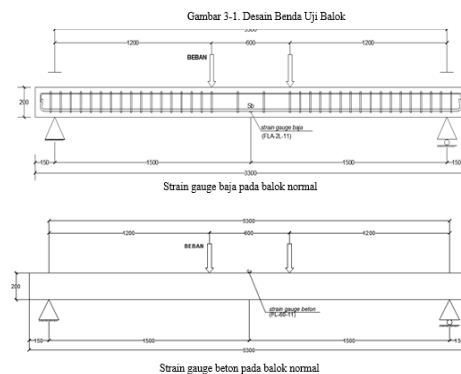
4. Metode Penelitian

a. Bahan Uji

Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah metode perawatan beton, yaitu perawatan beton dengan metode perendaman, dengan menggunakan karung goni basah, dan dibiarkan di udara terbuka dalam ruangan. Sedangkan variabel terikatnya adalah kapasitas lentur balok. Jumlah benda uji ada 3 dengan variasi perawatan sebagai berikut :



Ket.: Satuan dalam mm



Ket.: Satuan dalam mm

Gambar 3-2. Posisi strain gauge pada baja dan beton untuk tipe balok normal

5. Pembahasan

a. Hasil Pengujian Tulangan

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian kuat tarik baja tulangan, pengujian baja tulangan ini dilakukan sebelum pembuatan benda uji. Hal ini dimaksudkan agar kita dapat mengetahui mutu baja tulangan yang akan digunakan. Mutu baja yang digunakan harus sesuai dengan desain awal rencana benda uji. Pengujian baja tulangan ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Gowa, Universitas Hasanuddin.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan

Diameter Sampel	f_s (MPa)	f_{smax} (MPa)	E_s (GPa)	Keterangan
ø 6	240.5	417.2	20	BJTP24
D10	410.2	611.6	20.9	BJTS40
D14	421.7	671.3	21.9	BJTS40

(Sumber: Pengujian pengaruh metode perawatan terhadap kuat lentur balok beton bertulang. tahun 2016).

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Mutu baja (f_y) yang digunakan pada penelitian ini sebesar 421 MPa, tidak jauh berbeda dengan desain awal benda uji, yaitu 400 MPa.

b. Hasil pengujian tekan beton

Hasil pengujian karakteristik beton berupa pengujian kuat tekan yang dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari. Sampel kuat tekan beton berbentuk silinder berdimensi 10 cm x 20 cm. Pengujian ini menggunakan alat Tokyo Testing Machine (TTM) di Kampus Gowa Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dan didapatkan hasil kuat tekan seperti pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil pengujian Kuat Tekan beton

Sampel	Beban (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)
B1-A	256,50	32,65
B1-B	252,00	32,07
B1-C	218,00	27,75

Mutu beton yang digunakan pada penelitian ini sebesar 30 MPa, tidak jauh berbeda dengan desain penelitian awal yaitu 25 Mpa.

c. Hasil Analisis Kapasitas Momen Maksimum

Pengujian balok beton bertulang ini adalah untuk mengetahui kemampuan balok dalam memikul beban. Tabel 4.3 menunjukkan Hasil pengamatan pengujian kapasitas momen dan beban pada kondisi awal retak, leleh dan ultimit pada balok beton bertulang.

Pengujian balok terdiri dari pengujian balok yang dalam perawatannya menggunakan 3 metode yang berbeda. Pada Tabel 4.3 terlihat bahwa, pada balok B1-A, kondisi retak awal terjadi pada beban 5.741 kN dengan M_{cr} sebesar 4.247 kNm, dan pada kondisi tulangan meleleh pada beban sebesar 25.502 kN dengan M_{yield} sebesar 16.103 kNm hingga balok mencapai beban maksimum sebesar 26.170 kN dengan M_{ult} sebesar 16.504 kNm. Balok B1-B, kondisi retak awal terjadi pada beban 5.700 kN dengan M_{cr} sebesar 4.222 kNm, dan pada kondisi tulangan meleleh pada beban sebesar 20.762 kN dengan M_{yield} sebesar 13.259 kNm hingga balok mencapai beban maksimum sebesar 25.836 kN dengan M_{ult} sebesar 16.304 kNm. Balok B1-C, kondisi retak awal terjadi pada beban 5.400 kN dengan M_{cr} sebesar 4.042 kNm, dan pada kondisi tulangan meleleh pada beban sebesar 22.298 kN dengan M_{yield} sebesar 14.181 kNm hingga balok mencapai beban maksimum sebesar 23.767 kN dengan M_{ult} sebesar 15.062 kNm.

Tabel 4.3. Kapasitas beban dan momen berdasarkan analisa dan hasil pengujian benda uji umur 28 hari

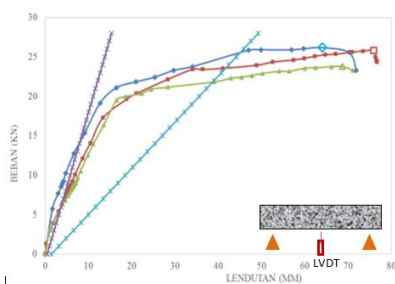
Uraian	Satuan	Tipe			Rata - rata
		B1-A	B1-B	B1-C	
Analisa	P_{crack}	kN	5.31	5.31	5.31
	M_{crack}	kNm	3.99	3.99	3.99
	P_{yield}	kN	25.64	25.64	25.64
	M_{yield}	kNm	16.19	16.19	16.19
	$P_{ultimate}$	kN	26.09	26.09	26.09
	$M_{ultimate}$	kNm	16.46	16.46	16.46
Hasil Pengujian	P_{crack}	kN	5.741	5.700	5.400
	M_{crack}	kNm	4.247	4.222	4.042
	P_{yield}	kN	25.502	20.762	22.298
	M_{yield}	kNm	16.103	13.259	14.181
	$P_{ultimate}$	kN	26.17	25.836	23.767
	$M_{ultimate}$	kNm	16.504	16.304	15.062
Rasio	M_{akap} / M_{ult}	%	1.003	0.990	0.915

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

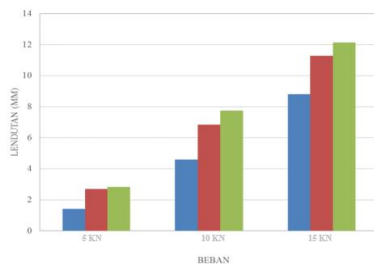
² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

d. Hubungan Beban dan Lendutan

Pada Gambar 4.1 menunjukkan hubungan beban-lendutan yang terjadi untuk balok dengan kondisi perawatan dengan metode perendaman (B1-A), perawatan dengan metode menggunakan karung goni basah (B1-B), dan tanpa perawatan atau ditempatkan di udara terbuka (B1-C). Pada balok B1-A lendutan yang terjadi sebesar 64.09 mm saat beban maksimal yaitu sebesar 26.17 kN. Pada sampel B1-B lendutan yang terjadi sebesar 75.92 mm saat beban maksimal yaitu sebesar 25.84 kN. Pada sampel B1-C lendutan yang terjadi sebesar 68.70 mm saat beban maksimal yaitu sebesar 23.77 kN.



Gambar 4.1 Hubungan Beban – Lendutan Benda Uji Balok Normal



Gambar 4.2. Besar Lendutan Yang Terjadi Pada Setiap Benda Uji

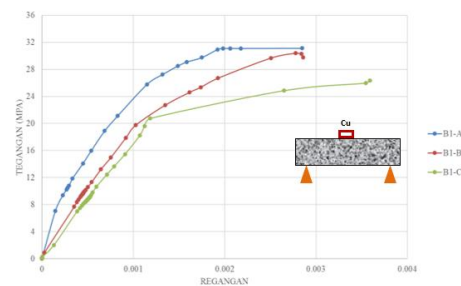
Pada Gambar 4.2 menunjukkan besar lendutan yang terjadi saat benda uji menerima beban 5 kN, 10 kN dan

15 kN. Saat beban 5 kN lendutan yang terjadi pada benda uji B1-A adalah 1,42 mm, B1-B adalah 2,70 mm dan B1-C adalah 2,83 mm. Saat beban 10 kN lendutan yang terjadi pada benda uji B1-A adalah 4,60 mm, B1-B adalah 6,84 mm dan B1-C adalah 7,74 mm. Saat beban 15 kN lendutan yang terjadi pada benda uji B1-A adalah 8,80 mm, B1-B adalah 11,28 mm dan B1-C adalah 12,14 mm. Lendutan terbesar yang terjadi pada beban 5 kN, 10 kN dan 15 kN adalah benda uji B1-C.

e. Hubungan Tegangan dan Regangan

1. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton

Besar regangan beton pada eksperimen ini diukur dengan menggunakan alat *strain gauge* tipe PL-60-11 (*gauge factor* $2,13 \pm 1\%$). Kenaikan regangan direkam melalui *data logger* THS 1100 yang ditransfer ke *computer software*. Pencatatan data regangan beton pada benda uji dilakukan setiap perubahan beban oleh *hydraulic pump* yang terekam oleh *load cell* yang ditransfer ke benda uji.



Gambar 4.3. Hubungan Tegangan – Regangan Beton Benda Uji

Pada Gambar 4.3 menunjukkan hubungan tegangan-regangan beton

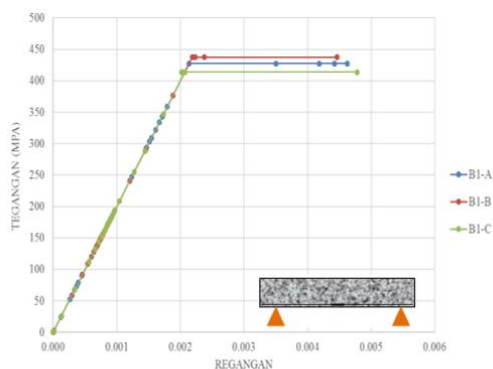
¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

pada balok B1-A, B1-B dan B1-C. Pada balok B1-A kondisi balok mengalami kegagalan pada tegangan 31,13 MPa dan regangan beton 2848 μ . Pada balok B1-B kondisi balok mengalami kegagalan pada tegangan 29,79 MPa dan regangan beton 2860 μ . Pada balok B1-C balok mengalami kegagalan pada beban 26,34 MPa dan regangan beton 3588 μ .

2. Hubungan Tegangan Regangan Baja

Besar regangan baja pada eksperimen ini diukur dengan menggunakan alat *strain gauge* tipe FLK-6-11-5L (*gauge factor* 2,12 \pm 1%). Kenaikan regangan direkam melalui *data logger* THS 1100 yang ditransfer ke *computer software*. Pencatatan data regangan beton pada benda uji dilakukan setiap perubahan beban oleh *hydraulic pump* yang terekam oleh *load cell* yang ditransfer ke benda uji.



Gambar 4.4. Hubungan Beban – Regangan Baja Tulangan Benda Uji

Pada Gambar 4.4 menunjukkan hubungan tegangan-regangan baja pada balok B1-A, B1-B dan B1-C. Pada balok B1-A kondisi leleh

tulangan sebesar 427.57 MPa dan regangan beton sebesar 2137 μ . Pada balok B1-B kondisi leleh beban sebesar 437.36 MPa dan regangan beton sebesar 2186 μ . Pada balok B1-C kondisi leleh beban sebesar 413.58 MPa dan regangan beton sebesar 2067 μ . Regangan baja pada saat ultimit secara teoritis :

$$\epsilon_s = \frac{199-109}{109} \times 0,003 \dots\dots\dots 4.1$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times \epsilon_c \dots\dots\dots 4.2$$

$$\epsilon_s = 0,0014 \dots\dots\dots 4.3$$

Beban	Benda Uji		
	B1-A	B1-B	B1-C
5 kN			
10 kN			
Maks.			

Gambar 4.5. Diagram Regangan Pada Beton

Dari hasil perhitungan teoritis, regangan baja hasil eksperimen yang dialami balok B1-A, B1-B dan B1-C pada saat beban ultimit melebihi regangan baja ultimit hasil teoritis.

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan regangan pada beton dan regangan pada baja. Diagram diatas menunjukkan bahwa keruntuhan pada balok masuk kategori *under-reinforced* karena sebelum balok

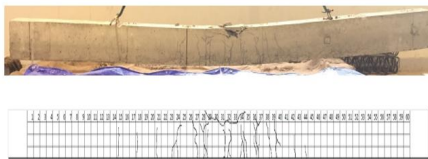
¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

runtuh tulangan sudah meleleh. Dari diagram juga dapat kita simpulkan bahwa balok beton B1-C lebih elastis daripada balok B1-A dan B1-B.

f. Pola Keretakan

Dari hasil pengujian semua balok terjadi kegagalan lentur, kegagalan ini berawal dari ketidakmampuan balok menerima beban yang melampaui kekuatannya. Berawal dari retak pada 1/4 bentang tengah balok yang terus mengalami perambatan retak bergerak secara intensif dari sisi tarik menuju ke sisi tekan benda uji dan tipe retak yang terjadi adalah jenis retak lentur (*flexural crack*). Proses ini berlanjut sampai tercapainya beban puncak, di mana beban tidak lagi bertambah tetapi lendutan terus bertambah terutama pada bagian retak yang cukup lebar dan selanjutnya secara tiba-tiba menurun drastis.



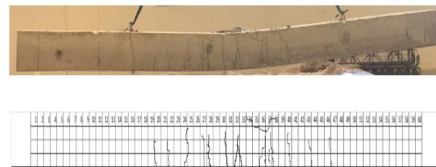
Gambar 4.6. Pola Retak Balok B1-A

Berdasarkan pengamatan pola retak Gambar 4.6 di atas memperlihatkan bahwa perambatan retak bergerak secara intensif dari sisi tarik menuju ke sisi tekan balok dan tipe retak yang terjadi adalah jenis retak lentur (*flexural crack*).

Benda uji B1-A mengalami retak pertama pada saat beban sebesar 5.74 kN. Setelah itu benda uji dalam kondisi leleh pada beban sebesar 25.50 kN hingga gagal pada beban

maksimum sebesar 26.17 kN dengan panjang retakan yang merambat melebihi bagian 3/4 bentang balok.

Mode kegagalan yang terjadi pada balok B1-A adalah terjadi keruntuhan pada 1/3 bentang sampai ketengah dengan jarak antara garis keruntuhan yang dekat. Pada saat beban maksimum beton mengalami kegagalan pada daerah tekan tepat pada tengah bentang balok setelah tulangan meleleh namun belum putus. Dengan demikian balok B1-A termasuk dalam desain *Under Reinforced*.



Gambar 4.7. Pola Retak B1-B

Berdasarkan pengamatan pola retak Gambar 4.7 di atas memperlihatkan bahwa perambatan retak bergerak secara intensif dari sisi tarik menuju ke sisi tekan balok dan tipe retak yang terjadi adalah jenis retak lentur (*flexural crack*).

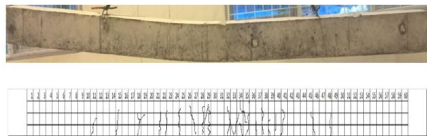
Benda uji B1-B mengalami retak pertama pada saat beban sebesar 5.70 kN. Setelah itu benda uji dalam kondisi leleh pada beban sebesar 20.76 kN hingga gagal pada beban maksimum sebesar 25.84 kN dengan panjang retakan yang merambat melebihi 3/4 bentang balok.

Mode kegagalan yang terjadi pada balok B1-B adalah terjadi keruntuhan pada 1/3 bentang sampai ketengah dengan jarak antara garis keruntuhan yang renggang. Pada saat beban

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

maksimum beton mengalami kegagalan pada daerah tekan tepat pada tengah bentang balok setelah tulangan meleleh namun belum putus. Dengan demikian balok B1-B termasuk dalam desain *Under Reinforced*.



Gambar 4.8 Pola Retak B1-C

Berdasarkan pengamatan pola retak Gambar 4.8 diatas memperlihatkan bahwa perambatan retak bergerak secara intensif dari sisi tarik menuju ke sisi tekan balok dan tipe retak yang terjadi adalah jenis retak lentur (*flexural crack*).

Benda uji B1-C mengalami retak pertama pada saat beban sebesar 5.40 kN. Setelah itu benda uji dalam kondisi leleh pada beban sebesar 22.29 kN hingga gagal pada beban maksimum sebesar 23.77 kN dengan panjang retakan yang merambat melebihi 3/4 bentang balok.

Mode kegagalan yang terjadi pada balok B1-C adalah terjadi keruntuhan pada 1/4 bentang sampai ketengah dengan jarak antara garis keruntuhan yang renggang. Pada saat beban maksimum beton mengalami kegagalan pada daerah tekan tepat pada tengah bentang balok setelah tulangan meleleh namun belum putus. Dengan demikian balok B1-C termasuk dalam desain *Under Reinforced*.

Perbedaan umum pada pola retak antara B1-A, B1-B dan B1-C adalah

pada balok B1-A retakan yang terjadi memiliki jarak yang rapat, retakan yang telah melewati $\frac{1}{2}$ H memiliki retak yang bercabang dan retakan terjadi dari 1/3 bentang sampai ketengah bentang. Pada balok B1-B retakan yang terjadi memiliki jarak yang renggang, retakan yang bercabang setelah melewati $\frac{1}{2}$ H dan retakan terjadi dari 1/3 bentang sampai ketengah bentang. Pada balok B1-C retakan yang terjadi memiliki jarak yang renggang, memiliki retakan yang tidak bercabang dan retakan terjadi dari 1/4 bentang sampai ketengah bentang.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Beban maksimum yang mampu dipikul B1-A sebesar 26.17 kN dengan lendutan sebesar 64.09 mm. Beban maksimum yang mampu dipikul oleh balok B1-B sebesar 25.84 kN dengan lendutan sebesar 75.92 mm. Sedangkan balok B1-C mampu memikul beban maksimum sebesar 23.77 kN dengan lendutan sebesar 68.70 mm. Beban maksimum terbesar terjadi pada balok B1-A dengan variasi perawatan direndam dalam air. Lendutan terbesar terjadi pada balok B1-B dengan variasi perawatan dengan menggunakan karung goni basah.
2. Rasio kapasitas momen hasil pengujian terhadap hasil analisa pada balok B1-A yang dirawat berdasarkan standar laboratorium

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

adalah 1.00%. Rasio kapasitas momen hasil pengujian terhadap hasil analisa balok B1-B yang dirawat dengan metode yang biasa digunakan dilapangan mendekati hasil dari balok B1-A yaitu 0.99%. Sedangkan rasio pada balok B1-C yang dibiarkan tanpa perawatan berbedah jauh dari *curing* (standar laboratorium) yaitu 0.92% dengan selisih 0.09%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ferguson, Phil. M. *Dasar-dasar Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga. 1986
- McCormac, Jack. C. *Desain Beton Bertulang*. Jakarta : Erlangga. 2001
- Mulyono, Tri. *Teknologi Beton*. Penerbit C.V Andi Offset. Yogyakarta. 2004
- Nawy, Edward. G. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Refika
- Aditama. 1998
- Nawy, Edward G., Tawio, dan Kusuma, Benny. *Beton Bertulang Jilid I*. Surabaya: Itspress. (2010).
- Nugraha, P. *Teknologi Beton*. CV Andi Offset, Jogjakarta. 2007
- PBI. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I - 2*, Cetakan ke-7, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Direktorat Jenderal Ciptakarya Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.
- Standard Nasional Indonesia (SNI). (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. SNI-03-2847-2002.
- Standar Nasional Indonesia. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847:2013. ICS 91.080.40. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Tjokrodinuljo, K. *Teknologi Beton*. Buku Ajar, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik. Universitas Gajah Mada.
- Wang, Chu-Kia. *Disain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga. 1993

¹ Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

² Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.